



盛土式津波避難施設の設計ならびに評価手法の開発

著者	瀬尾 直樹
号	63
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	工博第5559号
URL	http://hdl.handle.net/10097/00127687

		せお	なおき						
氏		名	瀬尾	直樹					
授	与	学	位	博士（工学）					
学	位	授	与	年	月	日	平成30年9月25日		
学	位	授	与	の	根	拠	法	規	学位規則第4条第1項
研	究	科	，	専	攻	の	名	称	東北大学大学院工学研究科（博士課程）土木工学専攻
学	位	論	文	題	目				盛土式津波避難施設の設計ならびに評価手法の開発
指	導	教	員						東北大学教授 風間 聡
論	文	審	査	委	員	主	査	東北大学教授 風間 聡	東北大学教授 田中 仁
								東北大学教授 今村 文彦	東北大学准教授 小森 大輔

論 文 内 容 要 旨

東日本大震災以降、海岸を有する地方公共団体においては、今後、発生が想定されている南海トラフ巨大地震等による津波災害から市民の生命を守るために、津波避難施設の建設を行っている。津波避難施設のうち、盛土式津波避難施設については、設計基準が存在していないため、設計者が独自の判断により、設計を実施しているのが現状である。そこで、「何としても生命を守る」施設を目的とする、盛土式津波避難施設の設計ならびに評価手法の開発を行った。

最初に、津波避難施設の現況調査を行うとともに、盛土式津波避難施設と津波避難タワーとの比較、および盛土式津波避難施設の避難エリアに居住する地域住民（静岡県袋井市中新田地区）における住民意識・避難行動に対するアンケート調査結果から、盛土式津波避難施設の有用性について示した。

また、盛土式津波避難施設と類似構造物である、盛土および堤防の設計に関する国内外の基準および論文の調査を行った。国内外の基準の調査結果から、これらの基準は、「崩れたら再度建設すれば良い」という考え方であることから参考基準とした。また、論文の調査結果からは、東日本大震災の海岸堤防、河川堤防および陸上盛土の崩壊パターンから検討すべき事項を把握した。

盛土式津波避難施設の設計手法に用いたシミュレーションモデルは、津波の浸水分布を算定するための「津波シミュレーションモデル」および盛土式津波避難施設と周辺家屋等との最適な離隔距離、盛土式津波避難施設の最適形状の検討するための「水路数値解析モデル」の両者である。それぞれのシミュレーションモデルの妥当性の確認を行い、良好な結果を得た。

盛土式津波避難施設の設計手法においては、図1に示す設計フローを作成し、それに準拠した設計を実施するものとした。設計フローにおいて、「前提条件」となる避難対象人数、津波の浸水分布および建設地点の敷地形状から、「決定される事項」となる避難面積、天端高、洗掘深および盛土勾配が決定される。「決定される事項」を踏まえ、盛土形状を想定し、想定された盛土形状について、「評価事項」である、盛土本体のみの安定検討、盛土と地盤との両者を考慮した安定検討、沈下の検討、液状化の検討、侵食に対する検討および斜路・階段の検討を実施し、盛土式津波避難施設の建設条件を決定する。

「前提条件」、「決定される事項」および「評価事項」における、個々の検討事項の解説は、検討事例を用いた方が理解しやすいと考え、著者が設計を行った、静岡県袋井市中新田地区命山「きぼうの丘」における検討事例を用いた。

最初に、「前提条件」である。避難対象人数は400人、「津波シミュレーションモデル」の津波浸水分布から当該地点における津波避難施設建設前の浸水深および流速、さらに最大浸水深を算定した。ま

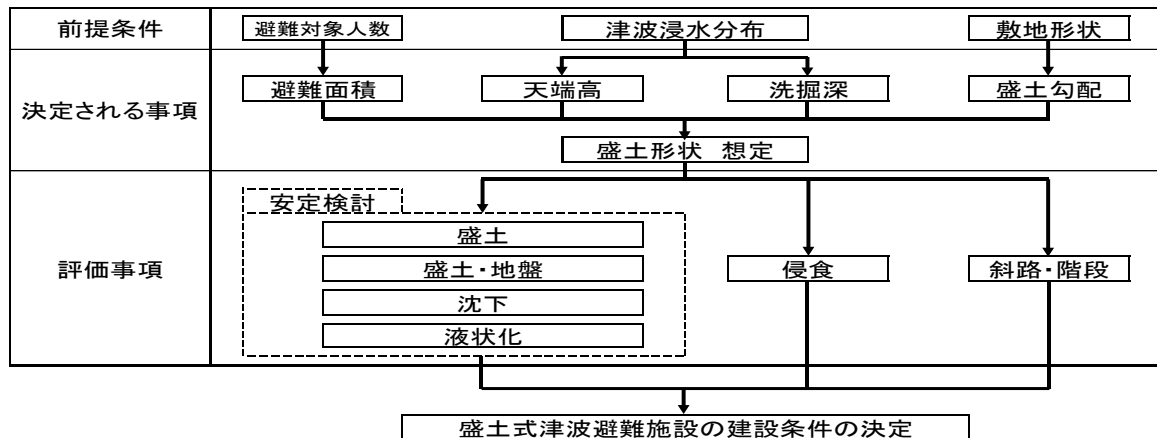


図1 設計フロー

た、建設地点の敷地は水田であり、敷地形状は110 m×76 mである。

次に、「決定される事項」である。避難面積は、1人当たりの避難面積を1 m²として400 m²とした。天端高の設定方法は、図2のフローのとおり、既存のガイドラインおよびマニュアルによる方法の他に、東日本大震災の事象を踏まえ、一般的2階建家屋を漂流物として考慮した場合の検討を追加し、これらの中で、最も天端高が高くなるものを構造物の天端高とした。なお、漂流物による天端高は、図3のとおり、家屋が盛土斜面に接触した箇所を支点として回転運動により倒壊するものとし、盛土の下段法面を延長したラインと回転運動による円弧の交点とした。なお、算定結果を0.5 m単位で切り上げて天端高とした。その結果、津波避難施設天端高は、漂流物による場合で決定され、T.P.+10.0m(地盤標高 T.P.+2.5 m)となった。なお、津波避難施設の前面水深の算定には、津波避難施設建設前および建設後の両者による津波シミュレーションを行う必要性を示し、さらに、津波避難施設および周辺家屋等を反映することが可能な解像度で行う必要があるとした。また、津波避難施設と周辺家屋等との最適な離隔距離を「水路数値解析モデル」により検討した。その結果、障害物(周辺家屋等)が存在する場合と障害物が存在しない場合との遡上高最大値が同等となる最適離隔距離は、流量に関係なく、障害物が存在する場合の遡上高最大値・障害物が存在しない場合の遡上高最大値の比と離隔距離・盛土幅の比は直線式で近似でき、検討地点における最適離隔距離は盛土幅の6倍程度(230 m程度)となった。しかしながら、盛土中心から230 mの範囲の障害物(周辺家屋等)を撤去することは現実的でない。天端高算定には遡上高を考慮する必要があることから、津波避難施設および周辺家屋等を反映させた解像度による解析の必要性を示した。また、洗掘深については、津波避難施設建設後の津波の流向から判断すると洗掘の可能性は低いと考えられるが、津波避難施設は生命を守る施設であることから、海岸堤防のように延長方向に同様の断面が続いているものとして洗掘深を算定し、安全側を考慮し1.0 mとした。津波避難施設の盛土勾配については、敷地形状や管理用道路、盛土小段、斜路の配置および階段勾配の基準から1:2とした。

「決定される事項」を踏まえ、盛土式津波避難施設の形状を想定したが、これは敷地形状が主要因となっている。そこで、敷地形状を考慮しない場合の盛土式津波避難施設の最適形状について、「水路数値解析モデル」を用いて検討を行った。盛土形状は、天端の形状から円形状、楕円形状、長方形および船底形状により検討した。また、遡上高最大値が最も低い形状を最適形状とした。その結果、水塊を背後へ受け流し、遡上高最大値が最も小さい円形状は、津波避難施設へ避難する避難者の安全性および津波避難施設天端高の低減の可能性があることから最適な形状と判断した。なお、敷地形状によって、円形状の確保が困難な場合には、楕円形状とし、その場合、短軸/長軸を可能な限り大きくとり、円形状に近い形状が望ましいことを示した。

最後に「評価事項」である。盛土本体のみの検討では、使用する盛土の材料特性を把握し、斜面の安定検討を行う。斜面の安定検討の解析手法については、国内外の基準の調査結果を踏まえ、比較検討を

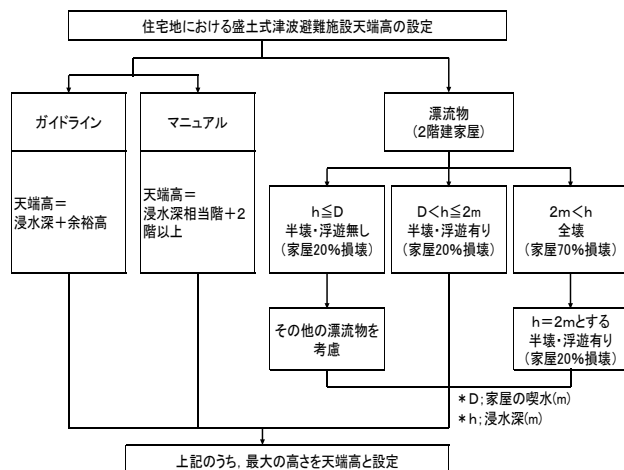


図2 天端高設定フロー

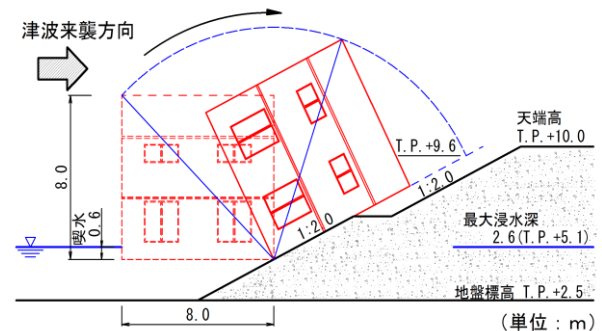


図3 漂流物による天端高設定方法

行った。検討地点においては、盛土材料が一樣であることから、すべり形状は円弧すべりが考えられ、また、地下水を自由地下水的に取り扱えることが可能であることの両者を満足する、修正フェレニウス法が最適であると判断した。検討ケースは、従来、常時、地震時および施工時の検討を実施する。また、国内の基準の「道路土工・盛土工指針」における検討ケースでは、常時、地震時および降雨となっており、津波の発生よりも頻度の高いと考えられる地震時および降雨が同時に作用する場合は考慮されていない。そこで、晴天時および降雨時という考え方を新規に取入れ、常時、地震時および施工時のそれぞれのケースに、晴天時および降雨時の検討を加えた合計 6 ケースの検討を実施するようにした。なお、晴天時とは盛土内に自由地下水が存在しない湿潤状態、降雨時とは盛土内に自由地下水が盛土天端まで存在する飽和状態とした。安定検討結果は、常時・降雨時および地震時・降雨時の場合で安定を確保することができなかったため、盛土材料を改良するものとした。改良は、セメント系を盛土材料に混合し、粘着力の増大を図った。安定を確保するための必要粘着力は 10 kg/m^3 であった。なお、施工はバックホウ混合により行い、セメント添加量は最少添加量の 50 kg/m^3 である。次に、盛土と地盤との両者を考慮した安定検討である。解析手法は、盛土本体のみの安定検討と同様である。検討ケースは、盛土本体のみの検討ケースに、地盤の洗掘を考慮した津波洗掘時に晴天時・降雨時の検討を加えた合計 8 ケースを実施した。その結果、地震時・降雨時において安定を確保することはできなかった。そこで、現況地盤においても改良する必要があると判断した。現況の地盤においてもセメント系による改良を考え、粘着力の増大を図ることとしたが、改良範囲および改良強度については、沈下に対する検討および液状化に対する検討も含め、総合的に判断するものとした。その結果、盛土下段の法尻から盛土上段の法尻までの範囲の液状化層をドーナツ状に改良(改良強度 65 kN/m^2)することにより、安定を確保することが可能となり、また経済性に優れたものであった。次に、侵食についてである。改良した盛土法面上には、植生のために客土(層厚 30 cm)を設置した。盛土建設後の津波の流速から植生が流出することは考えられないが、仮に流出した場合においても、改良した盛土の引張強度は津波の流速に対して十分な耐力が存在することから侵食の恐れはないと判断した。斜路・階段については、国内の基準どおりに、斜路の縦断勾配 8 %, 階段の勾配 1:2 を満足するものとした。

また、盛土式津波避難施設と津波避難タワーとの費用対効果分析を実施した。純利益 (B-C) および費用対効果 (B/C) の算定結果から、検討地点においては、純利益および費用対効果の両者ともに盛土式津波避難施設の方が津波避難タワーよりも効果が高いことがわかった。

本研究の成果は、今後、想定されている巨大地震に伴う津波災害から人命を守るために建設される、盛土式津波避難施設の設計を実施していく際に利用されるものとする。

論文審査結果の要旨

2011 年東日本大震災以降、今後、発生が想定されている南海トラフ巨大地震等による津波災害から市民を守るために、津波避難施設が建設されている。しかしながら、津波避難施設のうち、盛土式津波避難施設について設計基準が存在しないため、独自の判断で設計されているのが現状である。そこで、「何としても生命を守る」施設を目的とした盛土式津波避難施設の設計の評価手法の開発を行った。

論文は全 5 章よりなる。

第 1 章は序論である。研究背景を述べ、津波避難施設の現況調査、盛土式津波避難施設と津波避難タワーとの比較および盛土式津波避難施設の有用性等を示した。住民へのアンケートを実施し、本避難施設の有利性について言及した。また、本論文の目的と構成を示している。

第 2 章は盛土式施設の設計手法等の収集を行った。盛土式津波避難施設に関連した構造物である盛土・堤防について、設計に関する国内外の基準および論文を調査し、検討すべき事項をまとめ、検討方針を確定している。

第 3 章のシミュレーションモデルの検証では、盛土式津波避難施設の設計検討で用いる津波シミュレーションモデルおよび水路数値解析モデルの検証を行い、その妥当性を評価した。

第 4 章は盛土式津波避難施設の設計手法を示した。天端高の設定手法では、東日本大震災の事例を踏まえ、過去、考慮されてこなかった家屋を漂流物とし設計を取り入れており、世界でも初めての試みである。盛土前面水深の算定では、建設前後の津波シミュレーション結果による算出方法が設計上必要であることを示した。この結果は盛土式津波避難施設の設計上極めて重要な知見である。また、建設後において避難施設への津波遡上が考えられることから、水路数値解析モデルを用いて、遡上高最大値を算定し、津波避難施設と周辺家屋等との最適な離隔距離の検討を行った。加えて、数値解析モデルにより、敷地形状を考慮しない場合の津波避難施設の最適形状についても検討している。さらに、盛土の安定検討において国内外の基準の比較検討を実施し、最適な解析手法を提案している。これら一連の解析手法は国内外で初めて示された結果である。また、盛土の安定解析において、従来の検討ケースに加えて晴天および降雨時の考え方を組み込んだ新しい検討手法を導入している。さらに、盛土式避難施設と避難タワーとの費用対効果分析を実施し、津波避難施設導入の指針を与えている。これらの成果は、盛土式津波避難施設の設計に対し、極めて重要な成果である。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、生命を守ることを目的とした盛土式津波避難施設として、新しい知見を踏まえた設計基準を開発したと考えられる。本研究成果は、今後、発生が想定されている津波災害から人命を守るための施設設置の基準として大きく貢献できるものである。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。